



- © С.В. Дунь, канд. техн. наук (ПАТ “АвтоКрАЗ”);
- © А.В. Павленко, канд. техн. наук, доцент (КрНУ ім. М. Остроградського)

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ЕНЕРГООСНАЩЕНОСТІ ТА ПАРАМЕТРІВ ТРАНСМІСІЇ АВТОПОЇЗДІВ-ЗЕРНОВОЗІВ КРАЗ

***Анотація.** Розглянуто конструкцію та технічні характеристики автопоїзда-зерновоза КрАЗ у порівнянні з аналогами, наведено результати його заводських та експлуатаційних випробувань. Обґрунтовано ефективність застосування автопоїзда-зерновоза КрАЗ у сільському господарстві.*

***Ключові слова:** автопоїзд-зерновоз, вантажний автомобіль, причеп-самоскид, техніко-економічні показники автомобіля.*

***Аннотация.** Рассмотрены конструкция и технические характеристики автопоезда-зерновоза КрАЗ в сравнении с аналогами, приведены результаты его заводских и эксплуатационных испытаний. Обоснована эффективность применения автопоезда-зерновоза КрАЗ в сельском хозяйстве.*

***Ключевые слова:** автопоезд-зерновоз, грузовой автомобиль, прицеп-самосвал, технико-экономические показатели автомобиля.*

***Annotation.** The design and specifications of the KrAZ grain-carrying tractor-trailer combination compared to the analogues have been studied. The results of the factory and performance tests of the vehicle are shown in the present document. The expediency of use of the tractor-trailer combination in the agriculture has been grounded.*

***Key words:** trailer-grain, truck, trailer dumper, technical and operational characteristics of the truck.*

Вступ

Україна є одним із найбільших у світі виробників, експортерів та імпортерів сільськогосподарських культур. Більша частина експорту зернових здійснюється через річкові та морські порти. Автомобільний транспорт використовується для доставки сільськогосподарських вантажів із полів у зерносховища, від елеваторів у порти. На ринку транспортних послуг з перевезення насипних сільськогосподарських вантажів конкурують три види транспорту: залізничний, автомобільний і річковий. За даними з різноманітних джерел в 2013–2014 роках більше половини насипних сільськогосподарських вантажів, перевантажених в портах, були доставлені туди залізничним транспортом, більше третини – автомобільним і всього декілька відсотків – річковими судами. При цьому насипний вантаж може бути доставлено від зерносховищ до місць завантаження на залізничний і річковий транспорт тільки автомобілями.

Відомо, що автомобільний транспорт, який є найбільш універсальним, забезпечує доставку вантажів “від воріт до воріт” і може бути швидко завантажений та розвантажений в умовах усіх типів зерносховищ, є ефективним засобом транспортування при невеликому транспортному плечі – 200–250 км. Сьогодні спостерігається тенденція до збільшення відстані транспортування сільськогосподарських вантажів до 400–450 км, що визначається середньою відстанню між пунктами завантаження та розвантаження. Це своєю чергою потребує зменшення собівартості транспортної роботи.

У зв'язку з цим останніми роками на ринок виводяться моделі автопоїздів-зерновозів, які призначені для перевезення сільськогосподарських вантажів на

відстань 400–450 км [1–5]. При цьому ефективність їх використання визначається вантажністю, середньою швидкістю та витратою палива при інших рівних умовах. Загальновідомо, що ефективність автопоїзда прямо пропорційна його вантажності, яка обмежується навантаженнями на осі та допустимими габаритними розмірами. Середня швидкість також не може зростати безмежно, оскільки підвищення спротиву повітря суттєво збільшує витрату палива транспортного засобу. Досить висока середня швидкість при прийнятній експлуатаційній витраті палива забезпечується необхідним рівнем тягово-швидкісних характеристик автопоїзда. Таким чином, на ринку перевезень зернових стають затребуваними великовантажні автопоїзди (40 тонн і більше), які обладнані кузовами з боковим розвантаженням, загальним об'ємом кузовів автомобіля та причепа 60 м³ й більше.

Основна частина

Виробник вантажних автомобілів ПАТ “АвтоКрАЗ” створив моделі автомобілів КрАЗ, призначені для перевезення сільськогосподарських вантажів. Маркетингові дослідження ринків України та інших країн, які постійно проводяться спеціалістами підприємства, показують, що останніми роками найбільшим попитом користувалася модель автопоїзда-зерновоза у складі автомобіля MA3-6501A8-325-000 та причепа MA3-870100-1010P224 PCMZ 18. Аналіз технічних характеристик цього автопоїзда показує, що виробники демонструють прагнення до збільшення вантажності до гранично можливих значень [2]. Окрім того, традиційно широко застосовуються автопоїзди-зерновози на базі автомобілів KAMA3, Scania, VOLVO, MAN та ін.



Метою розробки автопоїзда-зерновоза КрАЗ є створення сучасних, надійних, економічних та екологічно прийнятних транспортних засобів для перевезення сільськогосподарської продукції. Оскільки автопоїзди призначено для магістральних перевезень дорогами з твердим покриттям, вони мають колісну формулу бх4 з компоувальною схемою кабіна над двигуном (так звана безкапотна компоновка). Така компоновка є новою для автомобілів ПАТ “АвтоКрАЗ”, розширює модельний ряд автомобілів, які виробляються, і є найбільш прийнятною для автомобілів, призначених для перевезення сільськогосподарських вантажів дорогами з твердим покриттям, забезпечує необхідну маневреність.

Першим на підприємстві був створений автопоїзд-зерновоз КрАЗ “КАРАВАН-1” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6230С4 та причепа-самоскида КрАЗ-А261С3 (рис. 1), основні технічні характеристики якого вказано в табл. 1.



Рис. 1. Автопоїзд-зерновоз КрАЗ “КАРАВАН-1” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6230С4 та причепа-самоскида КрАЗ-А261С3

Наступною моделлю став автопоїзд-зерновоз КрАЗ “КАРАВАН-2” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6511С4 та причепа-самоскида РСWІ 33 (шасі WIELTON PS-3D) (рис. 2), основні технічні характеристики якого вказано в табл. 1.



Рис. 2. Автопоїзд-зерновоз КрАЗ “КАРАВАН-2” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6511С4 та причепа-самоскида РСWІ 33

Найбільш важливими експлуатаційними характеристиками автопоїзда є його максимальна швидкість, продуктивність та паливна економічність. При створенні автопоїздів-зерновозів КрАЗ конструктивно була надана максимальна швидкість – 90 км/год для автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-1” та 100 км/год для КрАЗ “КАРАВАН-2”. Для підвищення продуктивності забезпечено використання кузовів підвищеного об’єму.

При проведенні випробувань автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-1” повною масою експлуатаційна витрата палива досягала значень 70 л/100 км, що не відповідає побажанням споживачів. При створенні автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-2” розробники намагались забезпечити його паливну економічність на рівні автопоїздів-аналогів.

Керуючись результатами випробувань автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-1” було поставлено ціль досліджень: покращити його паливну економічність та швидкісні характеристики. Для цього сформульоване завдання досліджень: визначити причину підвищеної витрати палива в їздових циклах, сформулювати рекомендації для покращення паливної економічності автопоїзда та реалізувати їх на автопоїзді КрАЗ “КАРАВАН-2”.

Питома потужність транспортного засобу суттєво впливає на його тягово-швидкісні характеристики та паливну економічність [6, 7, 8, 9]. Найближчими

Таблиця 1

Основні технічні характеристики автопоїздів-зерновозів КрАЗ

№ п/п	Технічні параметри	КрАЗ “КАРАВАН-1”	КрАЗ “КАРАВАН-2”
1	Двигун	ЯМЗ-6501.10 (266 кВт (362 к.с.), Е-3, дизельний, Р6)	WP12.400E40 (294 кВт (400 к.с.), Е-4, дизельний, Р6)
2	КПП	9JS200ТА (механічна, 9-ступенева)	9JS200ТА-G5132 (механічна, 12-ступенева)
3	Кабіна	Renault Kerax Global (Day)	MAN ліцензійного виробництва
4	Трансмісія	мости прохідного типу, $i_{гп.} = 6,154$	мости прохідного типу, $i_{гп.} = 4,9$
5	Максимальна швидкість, км/год	90	100
6	Вантажна платформа	з боковим розвантаженням; - автомобіля $V=26 \text{ м}^3$; - причепа $V=30 \text{ м}^3$	із розвантаженням на праву сторону та назад: - автомобіля $V=35 \text{ м}^3$; - причепа $V=40 \text{ м}^3$
7	Вантажність	автомобіля 20 т, причепа 20 т	автомобіля 20 т, причепа 26 т

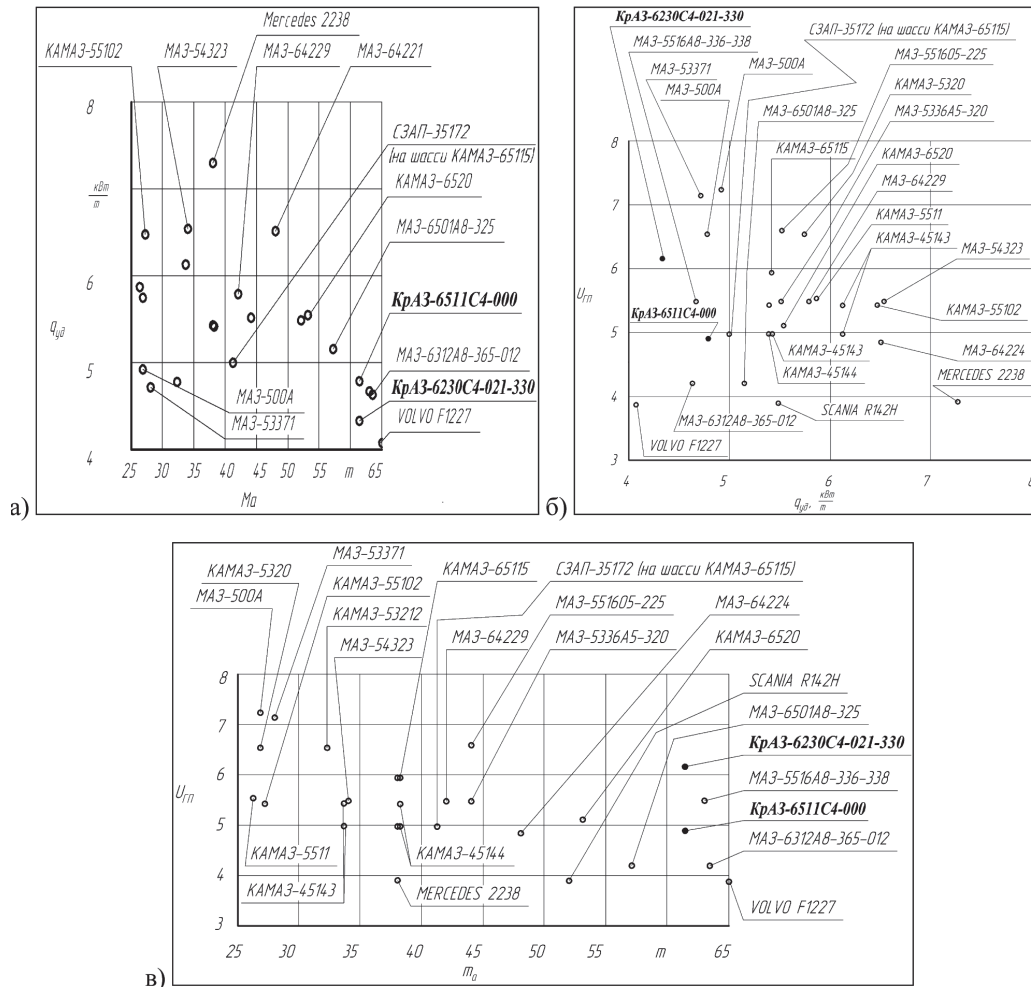


Рис. 3. Дані з енергозабезпечення та передавального числа головної передачі магістральних автопоїздів для перевезення насипних вантажів: а) питома потужність двигуна залежно від повної маси автопоїзда; б) передавальне число головної передачі залежно від питомої потужності двигуна; в) передавальне число головної передачі залежно від повної маси автопоїзда

конкурентами автопоїздів-зерновозів КрАЗ “КАРАВАН-1” і “КАРАВАН-2” є автопоїзди MA3-5516A8-336 (повна маса 63 т, потужність двигуна 294 кВт), MA3-6312A8-365-012 (повна маса 63,5 т, потужність двигуна 294 кВт), MA3-6501A8-320-021 (повна маса 57,1 т, потужність двигуна 294 кВт).

Для оцінки технічних характеристик автопоїздів КрАЗ у порівнянні з аналогами виконано їх аналіз із енергозабезпечення й оптимальності вибору передавального числа головної передачі (рис. 3).

Спостерігається загальна закономірність: більше енергозабезпечення мають автопоїзди з меншою повною масою. Автопоїзди повною масою 50–55 тонн мають середнє значення питомої потужності. Найменша питома потужність у VOLVO-F1227 (повна маса 65 т), у якого витрата палива при швидкості 80 км/год та 110 км/год складає 32,8 і 54,4 л/100км відповідно [9]. Питома потужність автопоїздів MA3 дещо більша через більшу потужність двигуна.

Проведено тяговий розрахунок автопоїздів КрАЗ “КАРАВАН-1” та “КАРАВАН-2” при різних величинах потужності двигуна та передавального числа головної передачі, в результаті якого визначено середню швид-

кість $V_{ср}$, час розгону t_p та витрату палива Q . Тенденції змін характеристик показано на рис. 4.

На основі проведеного аналізу та з метою покращення паливної економічності автопоїздів КрАЗ на автопоїзді-зерновозі КрАЗ “КАРАВАН-2” були реалізовані наступні кроки:

– застосовано двигун більшої потужності 294 кВт (400 к.с.);

– на автомобілі КрАЗ-6511C4 було змінено передавальне число головних передач ведучих мостів з і.п.=6,154 на і.п.=4,9 шляхом заміни відповідних шестерень. Це дало змогу підвищити максимальну швидкість автопоїзда до 100 км/год та покращити його паливну економічність в середньому на 20–25 % за різних режимів руху;

– як додатковий засіб було застосовано шини з дорожнім рисунком протектора марки BRIDGESTONE позначенням 315/80R22,5 (на передній осі моделі R249, на середньому і задньому мостах – M729), на причепі PCWI 33 – шини 385/65R22,5 Matador TH1.

Паливна економічність автопоїздів-зерновозів КрАЗ під час заводських випробувань визначалась за різними методиками (табл. 2):



Таблиця 2

Витрата палива автопоїздів КрАЗ “КАРАВАН-1” і “КАРАВАН-2”

№ п/п	Автопоїзд КрАЗ	Передавальне число головної передачі автомобіля-тягача ($i_{гп}$)	Повна маса автопоїзда, кг	Витрата палива, л/100 км					
				контрольна (при усталеному русі за циклом відповідно до [10]), км/год					експлуатаційна (при русі за магістральним міським циклом при повній масі)
				40	50	60	70	80	
1	КАРАВАН-1	6,154	61250	—	60,9	71,3	78,4	86,2	77,93
2	КАРАВАН-2	6,154	67060	40,3	46,5	58,5	70,8	—	65,5
3		4,9	64870	34,2	37,5	40,3	48,5	55,7	56,7
зменшення витрати палива (поз. 3 відносно поз. 2), %				15,1	19,4	31,1	31,5	—	13,4

Таблиця 3

Результати експлуатаційних випробувань автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-2”

Випробування	Пробіг автопоїзда при випробуваннях, км	Перевезений вантаж, Маса вантажу, т	“Плече” маршрутів, км	Середня витрата палива “на коло”, л/100 км	Передавальне число головної передачі
1	Загальний 2505, 3 вантажем 1250	Зерно кукурудзи, 48,83–52,66; Насіння соняшника, 27,66	87 – 89 182 – 194	53,0 – 54,6 42,0 – 42,1	$i_{гп} = 6,154$
2	Загальний 2100, 3 вантажем 1050	Зерно кукурудзи, 41,72–47,01	66 - 69	48,2 – 50,1	
3	Загальний 1737, 3 вантажем 857	Зерно кукурудзи, 48,7	857	42,0 – 43,1	$i_{гп} = 4,9$
4	Загальний 1340 3 вантажем 560	Зерно пшениці, 40,1	280	37,8 – 38,0	
5	Загальний 1320 3 вантажем 225	Органічна суміш, 35,0; Органічна суміш, 54,0	115 110	35,0 – 35,3 40,0 – 42,3	

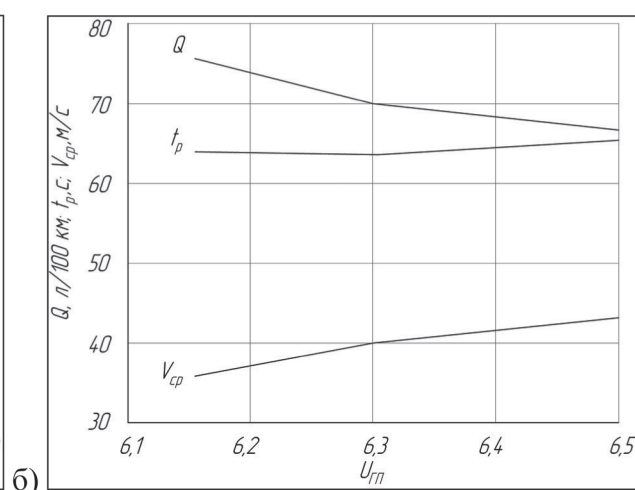
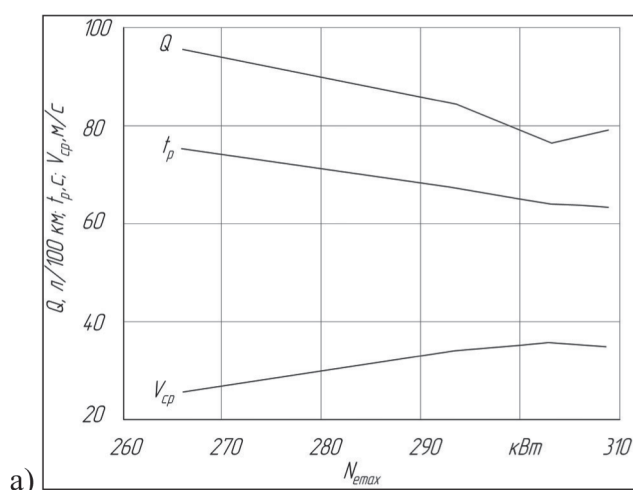


Рис. 4. Зміна витрати палива Q , середньої швидкості руху V_{cp} в магістральному їздовому циклі та часу розгону при: а) збільшенні потужності двигуна; б) зміні передавального числа головної передачі



- контрольна витрата палива при сталому русі зерновозів КрАЗ “КАРАВАН-1” і КрАЗ “КАРАВАН-2” за випробувальним циклом згідно із п. 1.5 [10];

- витрата палива (умовно експлуатаційна) при русі автопоїздів-зерновозів КрАЗ “КАРАВАН-1” та КрАЗ “КАРАВАН-2” за магістрально-міським циклом згідно із затвердженою заводською програмою-методикою;

- експлуатаційна витрата палива під час роботи автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН-2” в експлуатуючих організаціях.

Показники витрати палива автопоїзда КрАЗ “КАРАВАН-2” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6511С4-000 і причепа-самоскида РСWІ 33 в експлуатуючих організаціях, які значною мірою залежать від дорожніх та погодних умов, навичок керування автопоїздом водієм та інших факторів (табл. 3).

Випробування автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН-2” також було проведено в Державній науковій установі “Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробувань техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого”. За результатами випробувань отримано “Протокол випробувань автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН” у складі автомобіля-самоскида КрАЗ-6511С4 і причепа-самоскида РСWІ 33” із висновком про відповідність показників безпеки та ергономічності автопоїзда вимогам нормативних документів та про придатність його до використання у сільському господарстві. Економічні показники роботи автопоїзда, які визначені спеціалістами даної установи (рис. 5), залежність прямих експлуатаційних витрат від відстані перевезення вантажу показано на рис. 6.

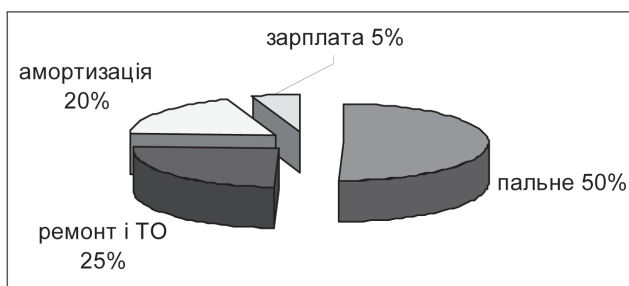


Рис. 5. Структура прямих експлуатаційних витрат на транспортування сільгосппродукції

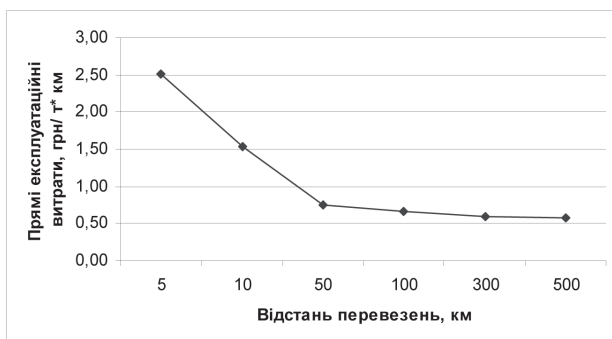


Рис. 6. Залежність прямих експлуатаційних витрат від відстані транспортування вантажів

Висновки

Застосування на автопоїзді КрАЗ “КАРАВАН-2” двигуна більшої потужності 294 кВт (400 к.с.) та зміна передавального числа головної передачі дають змогу забезпечити найбільш економічний режим роботи двигуна за швидкості руху 65...75 км/год, при цьому максимальна швидкість обмежується не кінематично, а балансом потужності. У цьому випадку немає необхідності у підвищенні тягової сили на ведучих колесах завдяки збільшенню передавального числа головної передачі з метою забезпечення подолання дорожнього спротиву при русі на вищій передачі зі швидкостями більшими ніж 65 км/год.

Результати випробувань автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН-2” кореспондуються з тяговим розрахунком, вибором потужності двигуна та передавального числа головної передачі автомобіля КрАЗ-6511С4.

Завдяки підвищенню потужності двигуна та оптимізації передавального числа головної передачі отримано витрату палива автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН-2” на рівні аналогів з одночасним підвищенням максимальної швидкості до 100 км/год.

Визначено економічну ефективність використання автопоїзда-зерновоза КрАЗ “КАРАВАН-2” для транспортування сільськогосподарських вантажів на відстань 400-450 км, використання зерновоза для транспортування вантажів на невеликі відстані (до 50 км) недоцільне.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автопоезда-зерновозы на базе автомобилей КрАЗ, МАЗ, КАМАЗ, MAN, VOLVO, Scania [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aleko.ua/katalog-produkcii/automobili>.
2. Автомобиль-самосвал для перевозки зерна МАЗ-650108-225-000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.maz.by/ru/products/special_equipment/2281.
3. Автомобиль-самосвал СЗАП-35171 с двусторонней разгрузкой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/special_vehicles/dumper/szap35171.
4. Автомобиль-самосвал-зерновоз АС3251/2А КОБАЛЬТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kobalt-foton.com.ua/samosval-zernovoz-as-3251-2a-kobalt-na-shassi-fotondaimler.html>.
5. Ford Cargo 353D: Пшеничный король [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autocentre.ua/tr/tracks/auto-test-drive/ford-cargo-353d-pshenichnyy-korol-15746.html>.
6. Трёмбовельский Л.Г. Прогнозирование тягово-скоростных и топливных свойств автотранспортных средств на основании дорожных и стендовых испытаний. Дисс. канд. техн. наук по спец. 05.05.03. – М.: 1991.
7. Трёмбовельский Л.Г. Некоторые задачи согласованности систем и автомобиля в целом. Автомобильная промышленность. – М., 2009. – № 6. – С. 11-14.
8. Карабцев В. С. Улучшение топливной экономичности и тягово-скоростных свойств магистрального автопоезда совершенствованием методов и комплексного критерия оценки эксплуатационной эффективности на стадии проектирования и доводки: Автореф. дис. канд. техн. наук., Набережные Челны, 2009, 25 с.
9. Резниченко В. А. Эксплуатационные свойства некоторых седельных тягачей / В.А. Резниченко, Э. И. Наркевич, Н. С. Киселев. – Автомобильная промышленность – М., 1986. – № 4. – С. 16-18.
10. ГОСТ 20306-90. Топливная экономичность автотранспортных средств. Методы испытаний. – Введ. 1990-12-20. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 32 с.